

Sami Sironen

Puukerrostalon välipohjan taipuma- ja värähtelytarkastelu

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Sami Sironen

Työn nimi: Puukerrostalon välipohjan taipuma ja värähtelytarkastelu

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2014

Sivumäärä: 50

Liitteiden lukumäärä: 0

Tämä opinnäytetyö tehtiin Seinäjoen ammattikorkeakoulun tekniikan yksikön rakennustekniikan koulutusohjelmassa Puu-Hubi projektin toimeksiannosta rakennusinsinöörin tutkintoa varten.

Suomessa rakennettaville puukerrostalojen välipohjille on paljon kovemmat kriteerit taipuman ja värähtelyn suhteen, kuin esimerkiksi Ruotsissa tai Iso-Britanniassa rakennettavissa puukerrostalojen välipohjissa. Kaikissa näissä kolmessa maassa on sama Eurokoodi 5 suunnittelun pohjana.

Työssä vertailtiin Eurokoodi 5:n, eurokoodin lyhennetyn suunnitteluohjeen sekä Suomen, Ruotsin ja Iso-Britannian kansallisten suunnittelunormien eroja.

Lopputuloksena on, että eurokoodiin pohjautuvan suunnittelun maissa täytyisi olla yhteneväisemmät kansalliset normit.

Avainsanat: Puurakentaminen, taipuma, värähtely, välipohja

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Sami Sironen

Title of thesis: Deflection and vibration in multi-storey timber construction

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2014

Number of pages: 50

Number of appendices: 0

The thesis was done in the degree programme of Construction Engineering of Seinäjoki University of Applied Sciences by the assignment of Puu-Hubi project.

The main objective in the thesis was to compare the different Eurocode annexes and the national annexes which are used in Finland, Sweden and United Kingdom. All these three countries use Eurocode 5 but still have their own national annexes. These annexes have lots of differences even though all countries are members of the European Union.

Finland has the highest and most demanding standards in the construction of multi-storey timber apartment building. When comparing the accepted values in deflection and vibration in the intermediate floor, Finland is also on the top.

It can be concluded that it would be easier, if all the countries followed same annex.

Keywords: Wood construction, deflection, vibration, intermediate floor

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ	4
Kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
1 JOHDANTO	7
2 PUU RAKENNUSMATERIAALINA.....	8
2.1 Yleistä	8
2.2 Puun vikoja	8
2.3 Puun fysikaalisia ominaisuuksia.....	9
2.3.1 Kimmoisuus	12
2.3.2 Puristuslujuus.....	13
2.3.3 Taivutuslujuus	13
2.3.4 Palotekniset ominaisuudet	13
2.4 Sahatavaran lajitteluperusteita	15
2.5 Puun käyttöä säätelevät määräykset ja ohjeet	16
2.6 Puukerrostalo	16
3 VÄLIPOHJA	18
3.1 Huoneiston sisäinen välipohja.....	18
3.2 Huoneistoja erottava välipohja	19
3.3 Välipohjarakenteita.....	19
3.4 Mitoitus käyttörajatilassa	21
3.5 Värähtely	21
4 PUURAKENTEIDEN EUROKOODI EN 1995.....	22
4.1 Taipuma	22
4.2 Värähtely	24
4.3 Lyhennetty suunnitteluohje	27
4.3.1 Taipuma	27
4.3.2 Värähtely.....	29
5 KANSALLISET NORMIT	34
5.1 Ruotsin kansallinen standardi	34

5.1.1	Staattiset kriteerit	35
5.1.2	Dynaamiset kriteerit	37
5.2	Iso-Britannian kansallinen standardi	39
5.2.1	Käyttöluokat	39
5.2.2	Käyttörajatila	39
5.3	Suomen kansallinen standardi	44
5.3.1	Käyttöluokat	44
5.3.2	Mitoitusarvo.....	44
5.4	Palkin taipuma.....	45
5.5	Lattioiden värähtely	46
5.6	Normien vertailu	48
6	YHTEENVETO.....	49
	LÄHTEET	50

Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Ripalaatta ja puubetonilaatta välipohja (Tolppanen ym. 2013).....	20
Kuvio 2. Käännetty ripalaatta ja NR-palkkivälipohjat (Tolppanen ym. 2013).....	20
Kuvio 3. Rankarakenteinen ja CLT-rakenteinen välipohja (Tolppanen ym. 2013).	21
Kuvio 4. Taipuman muodostuminen.....	23
Kuvio 5. Taipuman ja nopeusvasteen yläraja-parametrien a ja b suositusalue.	25
Kuvio 6. Poikittaisjäykistetty puuvälipohja.	32
Kuvio 7. Kelluvalla betonilaatalla varustettu puuvälipohja.	32
Kuvio 8. Välipohjan värähtely erilaisilla kuormituksilla.	38
Kuvio 9. Huoneen koosta riippuva taipuman korotuskerroin k.	46
Taulukko 1. Havupuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (Ylihärsilä 2010).	10
Taulukko 2. Liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (Ylihärsilä 2010).	11
Taulukko 3. Kerto-LVL:n ominaislujuudet, kokovaikutusekspONENTIT, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (Ylihärsilä 2010).	12
Taulukko 4. Suositeltavat taipumaraja-arvovälit.	23
Taulukko 5. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot.	28
Taulukko 6. Materiaalien jäykkyys- ja osavarmuusluvut.	40
Taulukko 7. Lopulliset taipuman raja-arvot palkille.....	41
Taulukko 8. Taipumien ja nopeusvasteiden rajoja.	41
Taulukko 9. Materiaalien jäykkyys- ja osavarmuuslukuja.....	45
Taulukko 10. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot.	45
Taulukko 11. Suunnitteluohjeiden välisiä eroja.	48

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä tutkitaan puukerrostalon välipohjan taipuma- ja värähtelymitoitusta Eurokoodi 5:n (EC5) ja Puuinfon Puurakenteiden suunnittelu, Lyhennetty suunnitteluohje -teoksen kannalta sekä Suomen, Ruotsin ja Iso-Britannian kansallisten normien mukaan. Opinnäytetyössä verrataan kyseisten maiden sallittuja taipumia sekä värähtelyä. Tällä hetkellä Suomessa olevat taipuman arvot ovat kolme kertaa tiukemmat kuin esimerkiksi naapurimaassa Ruotsissa. Suomessa välipohjan taipuma saa olla korkeintaan 0,5 mm, kun taas Ruotsissa taipuman sallitaan olevan 1,5 mm ja Iso-Britanniassa 1,8 mm. Jos Suomessa sallittaisiin samat normit, puukerrostalot voisivat yleistyä Suomessa helpomman toteutuksen ansiosta. Puukerrostalot ovat ympäristöystävällisiä, koska melkein kaikki kantavat rakenteet pystytään tekemään puusta. Välipohjan mitoitus tulee yleensä ratkaisevaksi puurakenteita suunniteltaessa ja Suomessa olevat säädökset tekevät niistä vielä vaikeampia toteuttaa kuin muissa maissa.

Suunniteltaessa puurakenteita eurokoodien mukaan täytyy myös standardissa EN 1990:2002 ja sen kansallisessa liitteessä olevat ohjeet ottaa huomioon. Puuinfon Puurakenteiden suunnittelu, lyhennetyn suunnitteluohjeen mukaan suunniteltaessa ollaan aina varmalla puolella verrattuna eurokoodin ohjeisiin. Eurokoodit ovat käytössä niissä maissa, joiden suunnitteluohjeiden mukaista puurakenteiden mitoitusta tässä työssä vertaillaan. Edellä mainittujen maiden kansallisissa liitteissä on eroja ja niistä aiheutuu suoraan eroja toteutettaviin puurakenteiden välipohjarakenteisiin.

2 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

2.1 Yleistä

Puu on hyvä rakennusmateriaali, joka on peräisin luonnosta ja joka lisääntyy koko ajan. Puuta voitaisiin hyödyntää enemmänkin rakentamisessa, koska sen loppumisesta ei ole vaaraa. Puu on hyvä rakennusmateriaali sen rakennusteknisten ominaisuuksien ansiosta, joista yksi niistä on puun käytettävyys kantavana materiaalina (Siikanen 2008, 8). Puusta on valmistettu monenlaisia rakennuksia ja rakennelmia kuten kirkkoja, linnoja, siltoja ja tietenkin taloja. Puusta on rakennettu yleensä asumiskäyttöön omakotitaloja. Nykyisin 85 % omakotitaloista on puurunkoisia, mutta on myös paljon kerrostaloja, joiden kantava materiaali on pääasiassa puu. Kerrostalojen korkeutta on säädelty paloturvallisuuden näkökulmasta siten, että ensin sallittiin 3 - 4 kerrosta (Siikanen 2008, 18 - 19). Uuden palomääräyssäädöksen mukaan Suomessa saadaan rakentaa jo kahdeksankerroksisia puukerrostaloja, joiden pääasiallinen kantavan rungon materiaali on puuta (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela & Viljakainen 2013, 10). Puukerrostalojen rakentaminen on kuitenkin vielä vähäistä, koska Suomessa olevat normit ovat monilta osilta paljon tiukemmat muihin puurakentamista suosiviin maihin verrattuna. Rakentamisen vähyyteen vaikuttaa myös rakentajien haluttomuus tehdä jotakin sellaista, mistä ei ole vielä kokemusta (Ijäs 2013, 54).

Suomessa olevat tiukat normit rakentamisessa saattavat olla syynä puukerrostalojen vielä vähäiselle määrälle. Varsinkin muihin maihin verrattuna Suomessa on vaikeampaa saada tehtyä sellaisia rakenteita, että annetut arvot taipumalle ja värähtelylle eivät ylity.

2.2 Puun vikoja

Puussa olevia vikoja voidaan luokitella neljään luokkaan:

- kasvuviat
- hyönteisvial
- valmistusvial

– lahoviat.

Kasvuvioista oksat ovat yleisin haitallinen ominaisuus rakennepuutavarassa. Siikanen (2008, 27) teoksessa mainitaan, että oksat alentavat puun lujuutta, koska ne ovat epäsäännöllisyyttä puuaineksessa ja niiden syysuunta on kohtisuoraan puun syysuuntaa vastaan. Oksat eivät ole puun varsinainen vika, sillä ilman oksia puu ei kasva. Yleensä valmistusviat johtuvat huonosta sahaustekniikasta, jotka aiheuttavat vajaasärmäisiä ja mittavirheellisiä kappaleita. Halkeamat syntyvät yleensä puuta kuivattaessa. Kun puu kuivaa, se kutistuu eri lailla pituussuunnassa kuin poikkisuunnassa ja pituussuuntainenkin kutistuminen vaihtelee puun eri osissa. Tästä johtuvat puun muodonmuutosviat, kuten syrjä- ja lapevääryys, kierous sekä kovertuminen (s. 32). ”Laho on bakteerien, lahottaja-, sinistäjä- tai homesienten vaikutuksesta pehmentynyttä, heikentynyttä ja usein myös tummunutta puuainesta”. Lisäksi monet eri hyönteiset saattavat huonontaa puun ominaisuuksia (s. 32).

2.3 Puun fysikaalisia ominaisuuksia

Suomessa rakentamisessa yleisimmät puulajit ovat mänty ja kuusi, ne ovat tiheydeltään 450–500 kg/m³ (Siikanen 2008, 43).

Puu on anisotrooppinen materiaali eli se kutistuu ja turpoaa eri suuntiin eri tavoin. Esimerkiksi mänty ja kuusi kutistuvat tuoreesta vedettömän kuivaksi pituussuunnassa 0,2 - 0,3 %, tangentin suunnassa noin 8 % ja säteen suunnassa noin 4 %. Tilavuus kutistuminen on noin 12 %. Tämän vuoksi puun pitkittäisellä kosteus elämisellä ei ole vaikutusta rakenteelliseen suunnitteluun. Sen sijaan poikittainen kosteus eläminen on otettava huomioon rakenteissa ja yksityiskohtien suunnittelussa. (Siikanen 2008, 43.)

Puu on anisotrooppista ainetta, jonka lujuusominaisuudet ovat riippuvaisia siihen kohdistuneen kuorman suunnasta. Puun lujuusominaisuuksien tarkka määrittely on vaikeaa. Puulajien ominaisuudet ovat erilaisia niiden rakenteen erilaisuuden takia. Myös samoilla puulajeilla ominaisuudet vaihtelevat paljon. Puun lujuusominaisuuksiin vaikuttavat tiheyden kautta mm. kasvupaikka, ilmasto, ravinteet ja kasvuolot. Myös puun iällä on merkitystä, samoin sillä, mistä osasta runkoa puukappale on otettu. Tiedetyt vikaisuudet heikentävät puun lujuutta. Rakennuksissa käytettävältä puutavaralta vaaditaan seuraavia lujuusominaisuuksia:

- kimmoisuus
- puristuslujuus
- taivutuslujuus
- leikkauslujuus
- kulutuksenkestävyys (Siikanen 2008, 45 - 46).

Taulukoissa 1–3 esitetään erilaisille puumateriaaleille annettuja ominaisarvoja.

Taulukko 1. Havupuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (Ylihärsilä 2010).

Lujuusluokka		C14 T0	C18 T1	C24 T2	C30 T3	C35 ¹⁾	C40 ¹⁾
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	14	18	24	30	35	40
Veto	$f_{t,0,k}$	8	11	14	18	21	24
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Puristus	$f_{c,0,k}$	16	18	21	23	25	26
	$f_{c,90,k}$	2	2,2	2,5	2,7	2,8	2,9
Leikkaus	$f_{v,k}$	3	3,4	4	4	4	4
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)							
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	7000	9000	11000	12000	13000	14000
	$E_{0,05}$	4700	6000	7400	8000	8700	9400
	$E_{90,mean}$	230	300	370	400	430	470
Liukumoduuli	G_{mean}	440	560	690	750	810	880
	$G_{0,05}$	300	380	460	500	540	590
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaistiheys	ρ_k	290	320	350	380	400	420
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	350	380	420	460	480	500

Taulukko 2. Liimapuun ominaislujuudet, jäykkyysominaisuuudet ja tiheydet (Ylihär-
silä 2010).

Lujuusluokka		GL24c	GL28c	GL28h ¹⁾	GL32c	GLh ¹⁾	
Ominaislujuudet (N/mm ²)							
Taivutus	$f_{m,k}$	24	28	28	32	32	40
Veto	$f_{t,0,k}$	14	16,5	19,5	19,5	22,5	24
	$f_{t,90,k}$	0,35	0,4	0,45	0,45	0,5	0,4
Puristus	$f_{c,0,k}$	21	24	26,5	26,5	29	26
	$f_{c,90,k}$	2,4	2,7	3	3	3,3	2,9
Leikkaus	$f_{v,k}$	2,2	2,7	3,2	3,2	3,8	4
Jäykkyysominaisuuudet (N/mm ²)							
Kimmomoduuli	$E_{0,mean}$	11600	12600	12600	13700	13700	14000
	$E_{0,05}$	9400	10200	10200	11100	11100	9400
	$E_{90,mean}$	320	390	420	420	460	470
Liukumoduuli	G_{mean}	590	720	780	780	850	880
	$G_{0,05}$	480	580	630	630	690	590
Tiheydet (kg/m ³)							
Ominaistiheys	ρ_k	350	380	410	410	430	420
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	390	430	460	470	500	500

Taulukko 3. Kerto-LVL:n ominaislujuudet, kokovaikutuseksponentit, jäykkyysominaisuudet ja tiheydet (Ylihärsilä 2010).

Lujuusluokka		Kerto-S	Kerto-T	Kerto-Q Paksuus 21- 24 mm	Kerto-Q Paksuus 27-69 mm
Ominaislujuudet (N/mm ²)					
Taivutus					
-syrjällään	$f_{m,k}$	44	27	28	32
-kokovaikutuseksponentti	S	0,12	0,15	0,12	0,12
-lappeellaan	$f_{m,0,flat,k}$	50	32	32	36
Veto					
-syysuuntaan	$f_{t,0,k}$	35	24	19	26
-poikittain syrjällään	$f_{t,90,edge,k}$	0,8	0,5	6	6
Puristus					
-syysuuntaan	$f_{c,0,k}$	35	26	19	26
-poikittain syrjällään	$f_{c,90,edge,k}$	6	4	9	9
-poikittain lappeellaan	$f_{c,90,flat,k}$	1,8	1	1,8	1,8
Leikkaus					
-syrjällään	$f_{v,k}$	4,1	2,4	4,5	4,5
-lappeellaan pintaviilun suuntaan	$f_{r,0,k}$	2,3	1,3	1,3	1,3
Jäykkyysominaisuudet (N/mm ²)					
Kimmomoduuli	E_{mean}	13800	10000	10000	10500
	$E_{0,05}$	11600	8800	8300	8800
Liukumoduuli	G_{mean}	600	400	600	600
	$G_{0,05}$	400	300	400	400
Ominaistiheys (kg/m ³)	ρ_k	480	410	480	480
Tiheyden keskiarvo	ρ_{mean}	510	440	510	510

2.3.1 Kimmoisuus

Taulukoissa 1–3 on erilaisten materiaalien kimmomoduulien arvoja.

Puun kimmomoduuli on suoraan riippuvainen puun tiheydestä. Se on säteen suunnassa yleensä 1,5-2 kertaa niin suuri kuin tangentin suunnassa. Puun kuivuessa alle 30 %:n kimmomoduuli kasvaa suoraviivaisesti. Muodonmuutos on usein tärkeämpi kuin lujuus. Puurakenteissa taipuma johtuu yleensä syiden suuntaisesta kimmoisuudesta. Puun kimmomoduuli on syiden suunnassa huomattavasti suurempi kuin syitä vastaan kohtisuorassa. Niinpä havupuilla tämä suhde on 1:16- 60 ja lehtipuilla 1:10 – 40. (Siikanen 2008, 46.)

2.3.2 Puristuslujuus

Virheettömällä puulla syiden suuntainen puristuslujuus on noin puolet vastaavasta vetolujuudesta. Taulukoissa 1–3 on esitettyä havupuulle, liimapuulle ja kertopuulle annettuja puristuslujuuksien arvoja. Puristuslujuuden arvo riippuu siitä kuinka puristava voima kohdistuu pintaan. Koko pinnalle osuva voima on kokonaispuristusta. Osittain osuva puristus on joko kiskopuristusta tai leimapuristusta. Puu kestää paremmin leima- kuin kiskopuristusta. (Siikanen 2008, 47.)

2.3.3 Taivutuslujuus

Taivutuslujuuksien arvoja on esitetty taulukoissa 1–3. Virheettömällä puulla taivutuslujuus on yhtä suuri kuin vetolujuus. Syiden suuntaan taivutuslujuus on suoraan verrannollinen puun tiheyteen. (Siikanen 2008, 47.)

2.3.4 Palotekniset ominaisuudet

Puun palotekniset ominaisuudet rajoittavat sen käyttöä ja soveltuvuutta erilaisiin rakenteisiin. Lämmitettäessä puu pehmenee, mikä johtuu ligniinin ja hemisellulosaan pehmenemisestä. Kuiva puu alkaa pehmetä +180 °C:n lämpötilassa ja saavuttaa maksiminsa +320...+390 °C:n lämpötilassa. Jos puu on kosteaa, pehmeneminen alkaa jo aikaisemmin. (Siikanen 2008, 48.)

Puun palaessa pintaan muodostuu hiilikerros, joka hidastaa puun sisäosien lämpenemistä ja näin myös puun palamista. Puun pintakerrosominaisuuksiin, syttymisherkkyysluokkaan ja palonlevittämislukkaan voidaan vaikuttaa mm. palonkylästyksellä. (Siikanen 2008, 48.)

Kantavien puurakenteiden suunnittelun kannalta on tärkeää, että puun palamisnopeus tunnetaan (esimerkiksi massiivipuun 0,8 mm/min.) ja voidaan ottaa rakenteiden mitoituksessa huomioon. (Siikanen 2008, 48.)

Puun huonona ominaisuutena pidetään sen palavuutta. On kuitenkin hyvä, että puun käyttäytyminen tulipalo-oloissa tunnetaan hyvin. Silloin voidaan laskea tar-

kasti sen kestävyys muun muassa kantavissa rakenteissa. Muun muassa teräs- ja esijännitettyihin betonirakenteisiin verrattaessa kantavia puurakenteita voidaan pitää tulipalo-oloissa jopa turvallisempina. (Siikanen 2008, 164.)

Nykyisessä RakMK E1:ssä on määritelty kaksi samanarvoista tapaa todeta rakennuksen määräystenmukaisuus eli ns. taulukkomitoitus ja oletettuun palonkehitykseen perustuva paloturvallisuustarkastelu, jolloin mitään normeissa esitettyä yksityiskohtaista vaatimusta ei välttämättä tarvitse noudattaa. (Siikanen 2008, 164.)

Palaessaan puu hiiltyy pinnaltaan. Hiilikerros muodostaa puun pinnalle lämmön siirtymistä hidastavan kerroksen. Puu ei kantavana rakenteena, palkkina, pilarina tms. tarvitse erityistä palonsuojausta, jos se palotilanteessa säilyttää riittävän kanto- ja suojaamiskyvyn määräyksissä vaaditun ajan. Sen sijaan kantaviin puurakenteisiin liittyvät teräsosat tulee aina suojata, jos rakenteille on asetettu jokin palonkestoavaatimus. (Siikanen 2008, 165.)

Pultti-, naula- ja naulalevyliitoksille, jotka tulevat suojaamattomina rakenteisiin, ei voida laskea lainkaan palonkestoaikaa. Puuta, lastulevyä, mineraalivillaa tai vastaavaa materiaalia voidaan käyttää teräsosien suojaamiseen. (Siikanen 2008, 165).

Massiivipuuta soveltuu kantavaksi rakenteeksi, kun kannatteilta vaaditaan 30–90 minuutin palonkestoaikaa. Tällöin mitoituksessa tulee ottaa huomioon puun hiiltymisnopeus ja syvyys. (Siikanen 2008, 165).

”RakMK:n osan B10 mukaan puisen suorakaiteen muotoisen rakennusosan hiiltymissyvyys x voidaan laskea hiiltymisnopeuden β ja ajan t (min) avulla seuraavasti:”

$$x = \beta t \quad (1)$$

Hiiltymättä jääneen poikkileikkauksen nurkkien kaarevuussäde on $r = 0,8 \beta t$ (mm) (Siikanen 2008, 165).

Puisten kantavien rakennusosien palonkestoaikaa määritettäessä voidaan puumateriaalin hiiltymisnopeutena käyttää standardipalossa seuraavia ohjeellisia arvoja:

- rakennepuutavara (mänty) 0,8 mm/min

– lehtipuu, tiheys yli 450kg/m ³	0,5 mm/min
– liimapuu	0,7 mm/min
– viilupuu	0,7 mm/min
– lastulevy SFS 3515 ja SFS 4152	0,9 mm/min
– kova- ja puoli kova kuitulevy SFS 2190	0,9 mm/min
– havupuuvaneri SFS 4092	1,0 mm/min
– sekavaneri SFS 409	1,0 mm/min
– koivuvaneri	1,0 mm/min

Yllä mainitut hiiltymänopeuden perusarvot tarkoittavat isoja suojaamattomia puupintoja, kuten liimapuupalkin kylkeä. ”Levysuojatut rankarakenteen tolpat ja palkit hiiltyvät paljon nopeammin”. (Siikanen 2008, 165 - 166.)

Rakennuksen kerrosluku, korkeus, kerrosala, käyttötarkoitus ja palovaarallisuusluokka ovat tärkeimpiä seikkoja, jotka vaikuttavat rakennuksen paloluokkaan. Kerrosluku määräytyy päällekkäisten kerrosten lukumäärän mukaan. (Siikanen 2008, 168.)

Kaikissa paloluokissa puuta voidaan käyttää kahteen kerrokseen asti. P2 paloluokassa puuta voidaan käyttää asuin- ja työpaikkarakennuksissa 3–8 kerrokseen asti. Puurunkoisissa 3–8 kerroksisissa rakennuksissa täytyy olla automaattisammutusjärjestelmä. (Puuinfo, [viitattu 2.5.2014].)

2.4 Sahatavaran lajitteluperusteita

”Sahatavara jaotellaan laatuominaisuuksien perusteella päälaatuluokkiin A, B, C ja D. Luokka A on jaettu alalaatuihin A1, A2, A3 ja A4” (Siikanen 2008, 58). Muita luokkia ei ole jaoteltu alempiin laatuihin. ”Luokan D alaraja on määritelty sanallisesti ilman yksityiskohtaisia taulukkoarvoja”. Sahatavarasta on olemassa myös luokkien yhdistelmiä kuten AB, joissa käytettävien puiden luokat ovat A:n ja B:n mukaisia. ABC yhdistelmä sisältää kaikkien kolmen luokan sallimia puita (s. 58 - 59). ”Myös muut laatu yhdistelmät ovat mahdollisia”. (s. 59).

”Rakentamismääräykset edellyttävät lujuuslajittelun sahatavaran käyttöä kantavissa rakenteissa”. ”Sahatavaran lujuuslajittelun merkitys on ollut verrattain pieni” (Siikanen 2008, 59). ”Lujuuslajittelulla varmistetaan, että sahatavaran ominaisuudet ovat käytössä riittävät ja että lujuus- ja jäykkyysominaisuudet ovat luotettavat”. (s. 60.) Lujuuslajittelua tehdään näköhavainnoin sekä koneellisesti. (s. 60.) ”Lajiteltu sahatavara pitää leimata”. (s. 62.)

2.5 Puun käyttöä säätelevät määräykset ja ohjeet

Sitovia ohjeita puurakentamiseen kantaville rakenteille ovat RakMK: B2, Kantavat rakenteet, Määräykset 1990. RakMK: B10, Puurakenteet, Ohjeet 2001. Kantavien rakenteiden määräyksissä esitetään puurakenteiden sovellusalue sekä lujuusluokiteltavan sahatavaran, liimattavien rakenteiden, sormijatkettun sahatavaran ja nau-lalevyrakenteiden valmistukselle sekä sahatavaran koneelliselle lujuuslajittelulle asetettavat vaatimukset. (Siikanen 2008, 126.) Puurakenteiden ohjeet ovat tarkoitettu yleisiksi suunnitteluohjeiksi. Ohjeissa käsitellään kantavien rakenteiden materiaaleja, liittimiä, liimoja sekä muita rakenneosia. Ohjeet sisältävät suunnitteluperusteet, mitoitusperusteet ja rakenneosien mitoituksen. Osassa B10 käsitellään lahontorjuntaa. Lahontorjunta liittyy kantaviin rakenteisiin ja kantaviin rakenteisiin liittyviin kantamattomiin rakenteisiin, joiden kautta laho voi siirtyä kantaviin rakenteisiin. (s. 126–127). ”RIL:n (Suomen Rakennusinsinöörien Liiton) puurakenteiden suunnitteluohjeissa RIL 120 (standardi SFS 4188) on esitetty puurakenteiden suunnitteluohjeet laajemmin kuin RakMK:n osassa B10” (s. 127).

Palomääräyksiä koskevat tiedot ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa E1, Rakennusten paloturvallisuus, Määräykset ja ohjeet. Se sisältää paloteknisen suunnittelun määräykset ja ohjeet. Määräyksiä on täydennetty osilla E2, E3, E4, E7, E8 ja E9 (s. 127).

2.6 Puukerrostalo

Puukerrostaloksi lasketaan sellaiset rakenteet, jotka ovat kokonaan tai suurimmaksi osaksi puurakenteisia. Rakennuksen täytyy olla vähintään kaksikerroksinen,

että se lasketaan kerrostaloksi. Yleisesti on käytössä puun ja betonin yhdistelmä-rakenteita. Myös teräs on mahdollinen liittorakenne puurakentamisessa. Suomessa puukerrostaloja on kaksikerroksisesta kahdeksankerroksiseen. Uusien palomääräysten taulukkomitoituksen mukaan (15.4.2011) voidaan rakentaa kahdeksaan kerrokseen asti. (Tolppanen, Karjalainen, Lahtela & Viljakainen 2013, 10.) Korkeimmissa puukerrostaloissa täytyy olla automaattisammutusjärjestelmä eli sprinkleri-järjestelmä.

3 VÄLIPOHJA

Välipohjien tulee täyttää eri rakennustyypeissä kantavuudelle ja palonkestävyydelle asetettavat vaatimukset, koska ne ovat aina kantavia rakenteita (Siikanen 2008, 171). Välipohjan rakenne voi vaihdella paljon riippuen siitä, mitä siltä vaaditaan, esimerkiksi akustiset, palotekniset ja ulkonäköön vaikuttavat tavoitteet määrittelevät, millainen välipohjasta tulee (Siikanen 2008, 241). ”Lattian kantavien palkkien mitoituksessa ja rakenteen jäykistyksessä sekä pintarakenteen suunnittelussa kiinnitetään huomiota samoihin seikkoihin kuin ryömintätilaisen alapohjan suunnittelussa eli yläpuolelta kohdistuvaan kuormitukseen, kantavien palkkien pituuteen, niiden keskinäiseen etäisyyteen ja käytettävään palkkityyppiin. Kantavuuden ohella välipohjapalkiston mitoituksessa on olennaista taipuman ja värähtelyn minimoiminen” (s. 241). Välipohjapalkiston mitoitus ja jäykistys tehdään samoin kuin ryömintätilaisessa alapohjassa. Massiivisella puutavaralla päästään yleensä noin 4–5 metriä pitkiin jänneväleihin. Viilupuulla ja puulevyuumailla palkeilla saadaan mahdolliseksi jopa 6 metrin vapaat pituudet. ”Liimapuupalkit eivät aseta periaatteessa rajoituksia vapaalle jännevälille” (s. 241). Pintarakenteet välipohjiin tehdään kuten alapohjissa. Tarvittaessa tulee ottaa myös ääni- ja palotekniset näkökohdat huomioon rakenteiden suunnittelussa (s. 241).

3.1 Huoneiston sisäinen välipohja

Suomen rakentamismääräyksissä huoneiston sisäisen välipohjan ilmaääneneristykselle tai askeläänenvaimennukselle ei aseteta vaatimuksia. Se mahdollistaa välipohjapalkkien jäävän näkyviin alapuolelta (Siikanen 2008, 242).

Kaksikerroksisen puisen asuinkerrostalon välipohjalle asetettavat äänitekniset vaatimukset ovat samat kuin kolmi- ja nelikerroksisilla puurakennuksilla. palotekniset vaatimukset ovat lievemmät: kaksikerrokseen asuinkerrostaloon ei tarvitse asentaa automaattista vesisammutusjärjestelmää. Myös pintakerrosvaatimukset ovat huomattavasti lievemmät kuin kolmi- ja nelikerroksisissa rakennuksissa. (Siikanen 2008, 242.)

Kantavan palkiston päälle asennettavat puiset rakennuslevyt täytyy aina kiinnittää kantaviin lattiapalkkeihin käyttäen liimaa ja riittävän tiheää ruuvikiinnitystä (Siikanen 2008, 242).

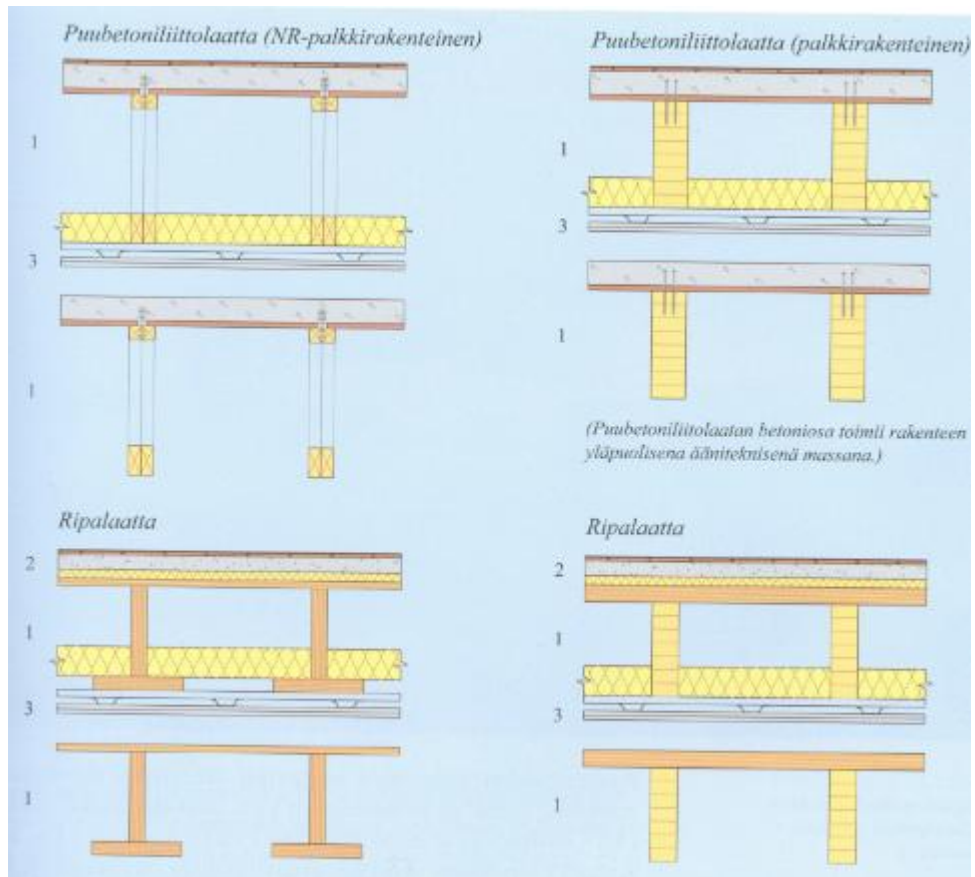
3.2 Huoneistoja erottava välipohja

Suomen rakentamismääräysten mukaan huoneistojen välisen välipohjan tulee täyttää ilmaääneneristysvaatimus $R'_{w} \geq 55$ dB ja askelääneneristysvaatimus $L'_{n,w} \leq 53$ dB. Kantavana ja osastoivana rakenteena sen tulee täyttää myös palonkestovaatimus REI 30 (kaksi kerrosta) ja REI 60 (kolme ja neljä kerrosta) (Siikanen 2008, 244.)

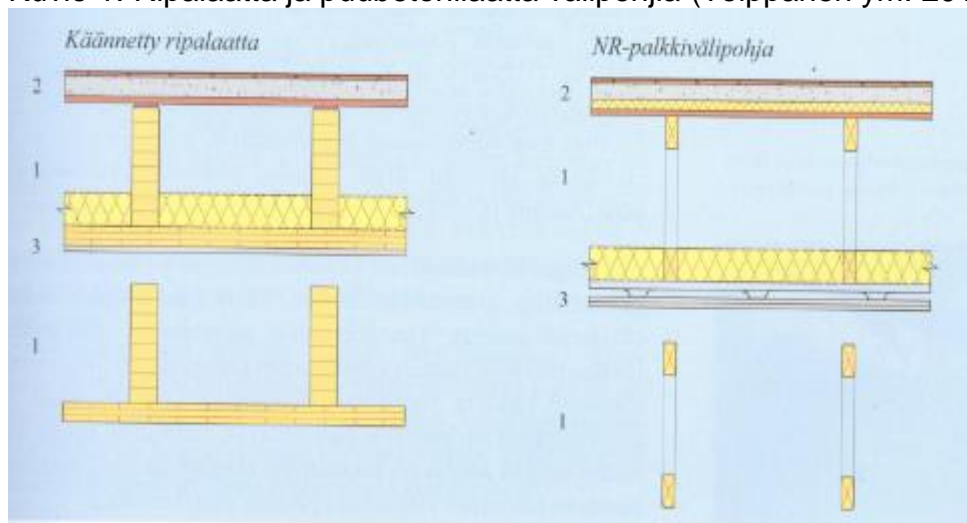
Tärkeimpiä rakenteellisen suunnittelun lähtökohtia ovat ilmaäänen ja askeläänen eristäminen sekä liikkumisesta aiheutuvan narinan poistaminen. Myös mahdollinen sivutiesiirtymä on otettava huomioon (s. 244).

3.3 Välipohjarakenteita

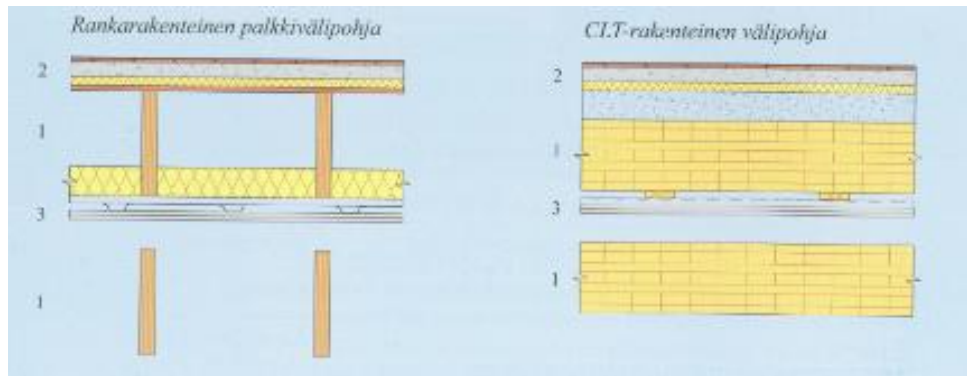
Välipohjan rakenteina ovat esimerkiksi rankarakenteinen palkkivälipohja, kotelo- tai ripalaatta kuvioissa 1–3. Välipohjan jäykistävä levytys kiinnitetään alla olevaan seinärunkoon (Tolppanen ym. 2013, 42).



Kuvio 1. Ripalaatta ja puubetonilaatta välipohjia (Tolppanen ym. 2013).



Kuvio 2. Käännetty ripalaatta ja NR-palkkivälipohjat (Tolppanen ym. 2013).



Kuvio 3. Rankarakenteinen ja CLT-rakenteinen välipohja (Tolppanen ym. 2013).

3.4 Mitoitus käyttörajatilassa

Vaakarakenteet kannattaa mitoittaa ensin käyttörajatilassa ja vasta sen jälkeen murtorajatilassa, koska taipuma ja värähtely ovat yleensä mitoittavia tekijöitä vaakarakenteissa. Jos kyseessä on liimapuupalkki tai ristikkorakenne voidaan kokonaistaipumaa vähentää esikoroituksella. Esikoroituksessa on otettava kuitenkin huomioon lattian tasaisuusvaatimus, eli lattiassa ei saa olla liikaa kaatoa. (Tolppanen ym. 2013, 86.)

3.5 Värähtely

”Välipohjarakenteet mitoitetaan kävelystä aiheutuvalle värähtelylle”. (Tolppanen ym. 2013, 88.) Lisäksi täytyy huomioida, ettei esimerkiksi pyykinpesukone aiheuta haitalliseksi koettua värähtelyä. Lattiat jaetaan kahteen ryhmään, matala- ja korkeataajuuslattioihin. Matalataajuuslattian alin taajuus $f_1 < 8$ Hz ja korkeataajuuslattian alin taajuus $f_1 \geq 8$ Hz. Suomessa eurokoodin mukaan värähtelymitoituksen kriteereinä ovat:

- Välipohjan ominaistaajuuden pitää olla vähintään 8 hertsiä (Hz).
- Välipohjan hetkellinen taipuma 1kN:n staattisen pistekuorman kohdalla saa olla enintään 0,5 millimetriä, jota voidaan korottaa k-kertoimella. (Tolppanen ym. 2013, 88–89.)

4 PUURAKENTEIDEN EUROKOODI EN 1995

Eurokoodi 5 sisältää puurakenteiden suunnittelun ohjeet. Suomessa se sisältää standardit SFS-EN 1995-1-1 ja SFS-EN 1995-1-2. Ensin mainittu käsittelee puurakenteiden yleisiä sääntöjä ja rakennuksia koskevia sääntöjä. Jälkimmäinen käsittelee puurakenteiden palomitoitusta (SFS-käsikirja 205 2007, 3). Eurokoodi 5 on pohjana Suomen, Iso-Britannian ja Ruotsin kansallisille normeille, joita tässä opinäytetyössä vertaillaan. Eurokoodia käytetään myös monissa muissa maissa, mutta niitä ei tässä työssä käsitellä.

4.1 Taipuma

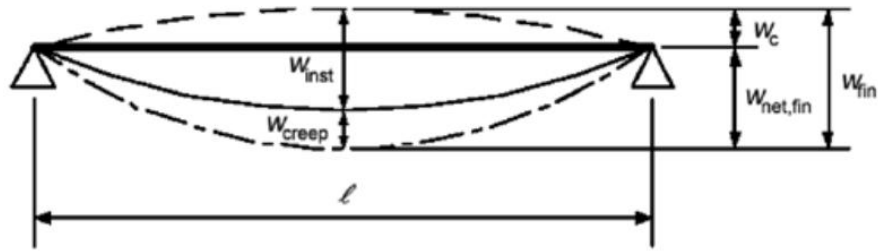
Rajatilamitoituksessa otetaan huomioon materiaalien erilaiset ominaisuudet kuten lujuus ja jäykkyys. Myös ajasta riippuvat ominaisuudet vaikuttavat suunnitteluun. Niitä ovat kuorman vaikutusaika ja viruminen. Lämpötilan ja kosteuden vaihtelun vaikutukset sekä erilaisista mitoitustilanteista aiheutuvat rakentamisvaiheet ja tukiehtojen muutos kuuluvat rajatilamitoitukseen. (SFS-käsikirja 205 2007, 48.)

Tukien välisestä suorasta viivasta alaspäin mitattu lopputaipuma $w_{\text{net,fin}}$ on:

$$w_{\text{net,fin}} = w_{\text{net}} + w_{\text{creep}} - w_{\text{c}} = w_{\text{fin}} - w_{\text{c}} \quad (2)$$

Taipuman suurin sallittu arvo w_{fin} saadaan kuvion (4) mukaisista osista. Merkinnät

- w_{c} on esikorotus (jos sellaista käytetään)
- w_{inst} on hetkellinen taipuma
- w_{creep} on viruman aiheuttama lisätaipuma
- $w_{\text{net, fin}}$ on lopputaipuma



Kuvio 4. Taipuman muodostuminen

Taulukko 4. Suositeltavat taipumaraja-arvovälit.

	W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
Kaksitukinen palkki	$l/300 \dots l/500$	$l/250 \dots l/350$	$l/150 \dots l/300$
Ulokepalkki	$l/150 \dots l/250$	$l/125 \dots l/175$	$l/75 \dots l/150$

Taulukossa (4) on esillä suositeltavat taipumaraja-arvovälit hyväksyttäväksi arvioitavan taipuman määrästä riippuen palkille, jonka jänneväli on l . Kansallisessa liitteessä voidaan esittää kansallisesti käytettävät rajat.

Kuormien vaikutuksista (kuten normaalivoimasta ja leikkausvoimasta, taivutusmomenteista sekä liitosten osien välisistä siirtymistä) sekä kosteudesta rakenteseen syntyvän muodonmuutoksen tulee pysyä riittävän pienenä, koska se voi muuten aiheuttaa vahinkoa pintamateriaaleille, katoille, keveille väliseinille ja pinnoitteille ja haittaa ulkonäöllisesti sekä toiminnallisesti (SFS-käsikirja 205 2007, 50).

Taipuman mitoituksessa otetaan huomioon kuvion (4) mukaiset osat: hetkellinen taipuma, virumasta aiheutuva taipuma sekä lopputaipuma. (SFS-käsikirja 205 2007, 120.)

4.2 Värähtely

Värähtelyn tutkimisessa täytyy varmistaa, että sauvan, rakenneosan tai rakenteen kuormat eivät aiheuta rakenteen kannalta haitallisia värähtelyjä eivätkä epämuakvuutta käyttäjien kannalta. Värähtelyä voidaan arvioida laskemalla tai mittaamalla. Laskennassa ja mittauksissa täytyy ottaa huomioon sauvan, rakenneosan sekä rakenteen jäykkyys ja värähtelymuotoa vastaava vaimennussuhde. Vaimennussuhteena voidaan käyttää arvoa $\xi=0.01$ (eli 1 %), ellei jotakin muuta arvoa osoiteta paremmin toimivaksi. (SFS-käsikirja 205 2007, 120.)

Koneista, joissa on pyörivä akseli sekä muita liikkuvia osia, aiheutuva värähtely täytyy saada pysymään värähtelyrajojen sisällä pysyvän kuorman ja muuttuvien kuormien epäedullisien yhdistelmien kanssa. (SFS-käsikirja 205 2007, 120.)

Erityistarkastelu joudutaan tekemään sellaisille asuinrakennuksen lattioille, joiden alin ominaistajuus on alle 8 Hz ($f_1 \leq 8\text{Hz}$). Sellaisen asuinrakennuksen lattian tapauksessa, missä alin ominaistajuus on yli 8 Hz ($f_1 > 8\text{Hz}$), tarkistetaan että seuraavat ehdot toteutuvat:

$$\frac{w}{F} \leq a \text{ mm/kN ja} \quad (3)$$

$$v \leq b_1^{(f_1 \xi - 1)} \text{ m/(Ns}^2\text{)} \quad (4)$$

jossa

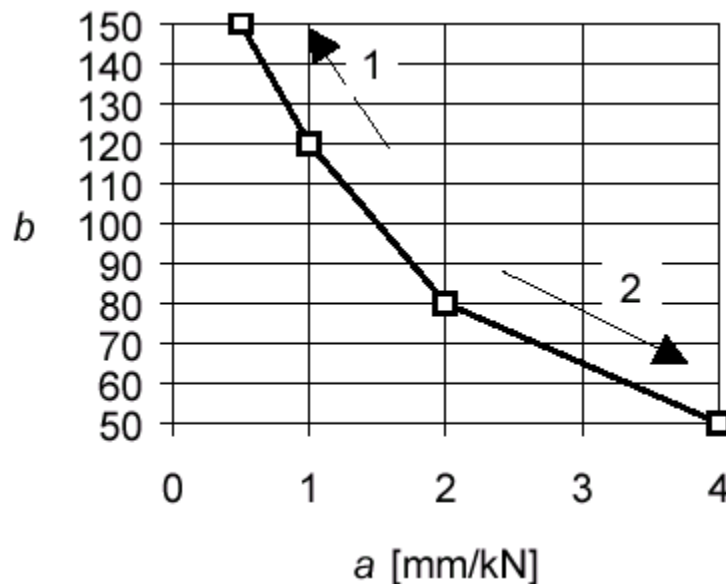
w on suurin hetkellinen taipuma, jonka aiheuttaa staattinen pystysuora pistekuorma F , joka vaikuttaa missä tahansa lattian kohdassa, kuorman jakautuminen huomioon otettuna.

v on yksikköimpulssin aiheuttama lattian pystysuoran värähtelyn nopeuden suurin alkuarvo [m/s], jonka aiheuttaa ideaalinen yksikköimpulssi (1Ns), joka asetetaan vaikuttamaan suurimman vasteen aiheuttavaan lattian kohtaan. Yli 40 Hz komponentit voidaan jättää huomiotta.

ξ on värähtelymuotoa vastaava vaimennussuhde.

Nämä laskelmat tehdään olettaen, että lattia on kuormittamaton, eli vain lattian oma paino ja muut pysyvät kuormat vaikuttavat.

Taipuman ja nopeusvasteen ylärajaparametrien a ja b suositusalue ja niiden välinen suositeltava yhteys näkyy kuviosta (5). Kansallisessa liitteessä voidaan esittää, kuinka nämä parametrit valitaan kansallisesti.



Kuvio 5. Taipuman ja nopeusvasteen ylärajaparametrien a ja b suositusalue.

Nuolen 1 suuntaan on parempi toiminta

Nuolen 2 suuntaan on huonompi toiminta

Suorakaiteen muotoiselle lattialle, jonka sivumitat ovat $l \times b$ ja joka on kaikkien neljän vapaasti tuetun reunan lisäksi tuettu puupalkeilla, joiden jänneväli on l , alin ominaistajuus f_1 voidaan laskea likimain kaavasta:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (5)$$

jossa

m	on massa pinta-alayksikköä kohti [kg/m ²]
l	on lattian jänneväli [m]
$(EI)_l$	on lattialaatan ekvivalentti taivutusjäykkyys palkin suuntaa vastaan kohtisuoran akselin suhteen (eli kantavaa suuntaa vastaava taivutusjäykkyys) lattian leveysyksikköä kohti [Nm ² /m].

Kun lattia on suorakaiteen muotoinen ja sen sivumitat ovat $l \times b$ ja lattia on vapaasti tuettu kaikilta neljältä reunaltaan, värähtelynopeuden likimääräisenä alkuarvona v voi käyttää arvoa:

$$v = \frac{4(0,4+0,6n_{40})}{mbl+200} \quad (6)$$

jossa

v	on yksikköimpulssin aiheuttama värähtelynopeuden alkuarvo [m/(Ns ²)]
n_{40}	on sellaisten ominaismuotojen lukumäärä, joita vastaava ominaistajuus on enintään 40 Hz
b	on lattian leveys [m]
m	on massa pinta-alayksikköä kohti [kg/m ²]
l	on lattian jänneväli [m].

Ominaismuotojen lukumäärä n_{40} voidaan laskea kaavasta:

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (7)$$

missä $(EI)_b$ on lattialaatan ekvivalentti taivutusjäykkyys [Nm²/m] palkkien suuntaisen akselin suhteen (eli lattian leveyssuuntaa vastaava taivutusjäykkyys) lattian pituusyksikköä kohti, jolloin $(EI)_b < (EI)_l$. (SFS-käsikirja 205 2007, 120–124.)

4.3 Lyhennetty suunnitteluohje

Lyhennetty suunnitteluohje on yksinkertaistettu Eurokoodi 5:stä. Lyhennetty suunnitteluohje on tarkoitettu Suomessa sijaitsevien tavanomaisten puurakenteiden, kuten pientalojen, suunnitteluun. Jos yksinkertaistetussa ohjeessa ei ole suunnittelusääntöä, noudatetaan silloin suunnitteluohjetta RIL 205 - 2009 tai suunnittelustandardeja EN 1990, EN 1991 sekä EN 1995. Lyhennetyssä suunnitteluohjeessa ei ole kaikkia velvoittavia periaatesääntöjä, jotka löytyvät Eurokoodi 5:stä P-tunnuksella (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 8).

”Puurakenteet suunnitellaan siten, että standardissa EN 1990:2002 ja sitä koskevassa kansallisessa liitteessä esitetyt perusvaatimukset täyttyvät” (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 8).

Perusvaatimusten katsotaan täyttyvän puurakenteiden osalta, kun käytetään rajatilamitoitusta ja osavarmuuslukumenetelmää Eurokoodi 0:n ja sen kansallisen liitteen mukaan, kuormat ja niiden yhdistelmät määritetään Eurokoodi 1:n ja sen kansallisen liitteen mukaan ja kun kestävyyksien, käyttökelpoisuuksien ja säilyvyyden osalta noudatetaan Eurokoodi 5:tä ja sen kansallista liitettä. (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 8.)

Eurokoodi 5 sisältää puurakenteiden suunnittelussa käytettäviä laskentakaavoja, joilla varmistetaan rakenteen kestävyys ja käytettävyyden. Lyhennetyssä versiossa on esitetty vain yksinkertaistetut laskentaketjut.

4.3.1 Taipuma

Kun taipumista tai rakennuksen vaakasiirtymistä on haittaa, käyttörajatilan taipumat ja vaakasiirtymät rajoitetaan taulukon mukaisiksi, ellei rakenteen tai rakennuksen tyypistä (esim. helposti halkeilevat rakenteet), käyttötarkoituksesta (esim. vedenpoiston kallistukset) tai toiminnan luonteesta (esim. nosturiradat) johtuen muiden arvojen voida katsoa soveltuvan paremmin. (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 21.)

Taulukko 5. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot.

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}^{2)}$	$w_{fin}^{3)}$
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200$	$l/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä	-	$H/300$	-
<p>l on jänneväli H on rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus ¹⁾koskee pelkästään lattioita ²⁾koskee suoria ja esikorotettuja rakenteita, mutta ei tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia kannattimia ³⁾koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita</p>			

Taulukossa 5 esitetään taipumien ja rakennuksen vaakasiirtymien enimmäisarvot puurakenteiden lyhennetyn suunnitteluohjeen mukaisesti. Ulokkeiden taipuma jännevälin suhteen saa olla kaksinkertainen (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 21).

Kuormien ja kosteuden vaikutuksista rakenteeseen syntyvän muodonmuutostilan tulee pysyä riittävän pienenä, kun otetaan huomioon mahdollisuus, että se voi aiheuttaa vahinkoa pintamateriaaleille, katoille, lattioille, keveille väliseinille ja pinnoitteille ja tuottaa haittaa toiminnan ja ulkonäkövaatimusten kannalta (Puurakenteiden suunnitteluohje 2011, 10).

Tässä luvussa esitetyt käyttörajatilan ohjeet pätevät, kun:

- rakenteen kaikilla sauvoilla on sama virumaluku k_{def} (taulukkoarvo) ja kun
- rakennetta kuormittaa samanaikaisesti korkeintaan omapaino, lumi, tuuli ja yksi A, B tai C luokan hyötykuorma (asuin-, toimisto- tai kokoontumistila).

Kuormasta aiheutuva hetkellinen taipuma w_{inst} (kuvio 4) lasketaan seuraavalle kuormien ominaisyhdistelmälle käyttämällä kimmo-, liuku- ja siirtymäkertoimien keskiarvoja. (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 10.)

Hyöty- tai lumikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma:

$$G_{kj} + Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2} \quad (8)$$

Tuulikuorman ollessa määräävä muuttuva kuorma:

$$G_{kj} + Q_{k,t} + 0,7Q_{k,1} + 0,7Q_{k,2} \quad (9)$$

(Puurakenteiden suunnittelu 2011, 10).

Kokonaistaipuma w_{fin} (ks. Kuvio 4) saadaan kaavalla:

$$w_{fin} = \max \left\{ \begin{aligned} &((1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} + (0,7 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} \\ &((1 + k_{def})w_{inst,G} + (1 + 0,3k_{def})w_{inst,hyöty} + (0,7 + 0,2k_{def})w_{inst,lumi} \end{aligned} \right. \quad (10)$$

jossa

k_{def} on virumaluku (taulukkoarvo)

$w_{inst,G}$ on pysyvän kuorman G_{kj} aiheuttama hetkellinen taipuma

$w_{inst,lumi}$ on lumikuorman Q_{kj} aiheuttama hetkellinen taipuma ja

$w_{inst,hyöty}$ on hyötykuorman Q_{kh} aiheuttama hetkellinen taipuma

Värähtelyn käyttörajatilatarkastelussa käytetään jäykkyysvakioiden keskiarvoja (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 10).

4.3.2 Värähtely

Kävelystä johtuvat värähtelyt otetaan huomioon asuin-, kokoontumis-, myymälä- ja toimistorakennusten käyttörajatilamitoituksessa. Erityis- tarkastelu on tarpeen, jos asuin- tai toimistohuoneiston lattiarakenteen alin ominaistaaajuus on alle 9 Hz ($f_1 < 9$ Hz). (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 21.)

Tämän kohdan mukaista yksinkertaistettua värähtelymitoitusta voidaan käyttää eräille asuin- ja toimistorakennusten välipohjille (kuviot 6 ja 7). Muissa tapauksissa värähtelymitoitus tehdään RIL 205-1-2009 kohdan 7.3 mukaan (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 21).

Lattiarakenteen alin ominaistuuus lasketaan lausekkeesta

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} * \sqrt{\frac{(EI)_L}{s \cdot m}} \quad (11)$$

jossa

L	on lattiarakenteen jänneväli [m]
$(EI)_L$	on taivutusjäykkyys yhtä lattiapalkkia kohden [Nm ²]
s	on lattiapalkkien välinen etäisyys [m]
m	on lattian oman painon ja pitkäaikaisen hyötykuorman (0,3q _k) pinta-alayksikköä kohden yhteen laskettu massa [kg/m ²].

Mikäli lattialevy on liimattu rakenteellisesti lattiapalkkeihin, taivutusjäykkyys $(EI)_L$ voidaan laskea ripalaatan T-poikkileikkaukselle. Jos levyn liimaus toteutetaan työmaalla, liittovaikutuksesta saa hyödyntää 50 %, jolloin $(EI)_L = 0.5 \cdot [(EI)_P + (EI)_T]$, kun $(EI)_P$ on palkin ja $(EI)_T$ on T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyys. (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 22.)

Kuvion (7) mukaisen lattian värähtelymitoituksessa rakenteellisesti liimatun T-poikkileikkauksen taivutusjäykkyydelle voidaan käyttää likiarvoa

$$(EI)_T \approx (2,2 - 0,1 * L) * (0,4 + s) * (EI)_P \quad (12)$$

Mihin palkkiväli s ja jänneväli L sijoitetaan metreinä [m].

Kaava pätee, kun lattiapalkin leveys $b \leq 50$ mm. Jos lattiapalkin tai ns. tuplapalkin leveys $b = 50 \dots 100$ mm, kaavan mukaista jäykkyyttä pienennetään kertoimella $k = 1,15 - 0,003b$.

Mikäli lattian päälle valetaan kelluva betonilaatta, taivutusjäykkyys $(EI)_L$ voidaan laskea lattiapalkin ja halkeilemattoman betonilaatan taivutusjäykkyyksien summaksi, kun betonilaattaa tarkastellaan kannatinvälin s levyisenä palkkina. Jos betonikantinen välipohja on tuettu neljältä reunalta, kaavan mukaista ominaistuuutta voidaan korottaa kertoimella:

$$k_f = \sqrt{\frac{6}{B}} \geq 1 \quad (13)$$

Missä B on lattian tukiväli poikittaissuunnassa metreinä (m) (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 22).

Yksinkertaistetussa värähtelymitoituksessa tarkistetaan, että seuraavat ehdot toteutuvat:

$$f_1 \geq 9 \text{ Hz} \quad (14)$$

$$k_B * k_s * \delta_L \leq 0,5 \text{ mm} \quad (15)$$

k_B on lattian poikittaissuunnan jäykkyyden ja huoneen koon huomioon ottava kerroin

k_s on lattiapalkkien välisestä etäisyydestä riippuva kerroin

$$k_B = 0,1 + \frac{L}{30} \quad (16)$$

mihin lattian jänneväli L sijoitetaan metreinä [m]

Kuvion (6) mukaisella palkkivälipohjalla kerroin k_s voidaan laskea kaavasta

$$k_s = \sqrt{\frac{s}{0,6}} \geq 0,5 \quad (17)$$

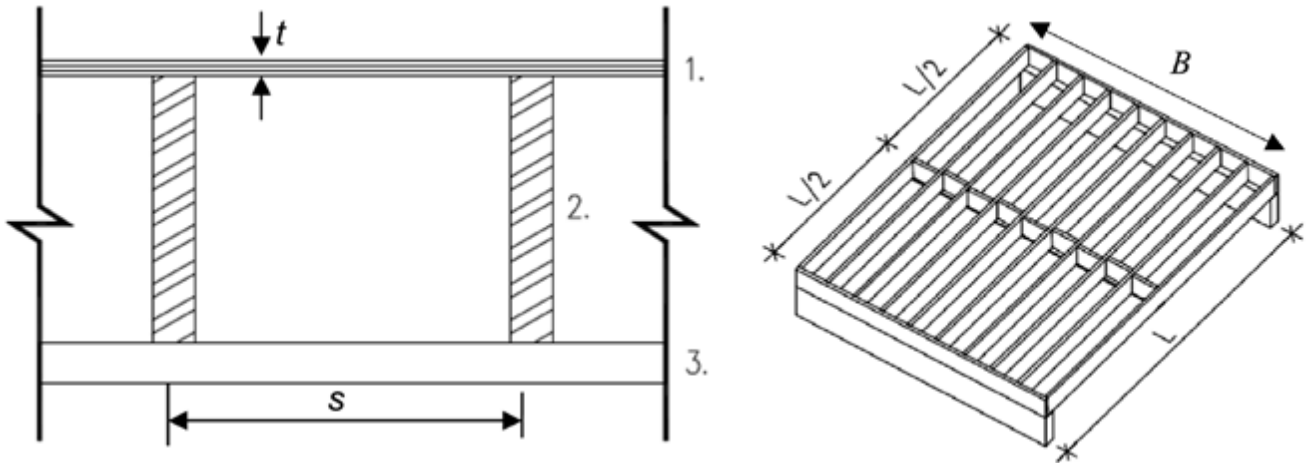
ja kuvion (7) mukaisella betonikantisella välipohjalla

$$k_s = \frac{s}{0,6} \geq 0,3 \quad (18)$$

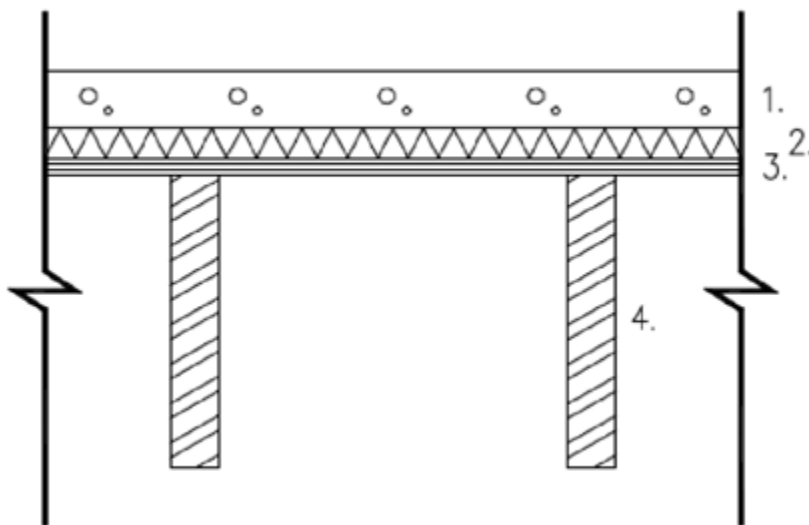
Palkkiväli s sijoitetaan kaavoihin (17) ja (18) metreinä [m].

δ_L on laskennallinen 1 kN staattisen pistevoiman aiheuttama lattiapalkin suurin hetkellinen taipuma, kun kuorman jakautumista viereisille palkeille ei oteta huomioon ja kun palkin taivutusjäykkyytenä käytetään kaavan (12) yhteydessä määritettyä taivutusjäykkyyttä $(EI)_l$.

Kuvion (7) mukaiselle lattiarakenteella kertoimelle k_B voidaan käyttää arvoa $k_B = 0,5$. Betonikantisella välipohjalla, jonka leveys on vähintään 2 m, kerroin k_B voidaan laskea kaavalla (16).



Kuvio 6. Poikittaisjäykistetty puuvälipohja.



Kuvio 7. Kelluvalla betonilaatalla varustettu puuvälipohja.

Kuviossa (7) esitetään kelluvalla betonilaatalla varustettu puuvälipohja. Välipohja voidaan tehdä myös ilman joustavaa kerrosta 2. Välipohjan rakenteelliset osat:

1 - Betonilaatta, lujuus lk. $\geq K20$, $h \geq 60$ mm, kutistumaraudoitus $\geq 4\#150$.

3 - Vaneri (mitoitetaan valunaikaisille kuormille).

4 - Puupalkit $s \leq 600$ mm: sahatavara, liimapuu tai LVL (Puurakenteiden suunnittelu 2011, 23).

5 KANSALLISET NORMIT

5.1 Ruotsin kansallinen standardi

Kirsi Jarnerön haastattelussa (2014) kävi ilmi, että Ruotsissa käytetään osittain samoja mitoitusohjeita kuin Suomessa. Ruotsin kansalliset ohjeet eivät kuitenkaan ole yhtä tarkkoja kuin Suomen kansalliset ohjeet. Eurokoodi 5 on pohjana ruotsalaiselle puurakenteiden mitoitukselle, mutta siellä on myös käytössä omia kansallisia ohjeita. Ruotsalaisessa BOVERKET HANDBOK-ohjeessa, jonka mukaan Ruotsissa mitoitettiin puurakenteita ennen Eurokoodia ja nykyistä standardia BFS 2013:10 EKS 9, on keskeisiä asioita, joita otetaan huomioon puurakenteita suunniteltaessa. Ohjekokoelma sisältää taipuman ja värähtelyn lisäksi onnettomuuskuormien laskentaa, kuten tulipalo-, räjähdys-, maanjäristys- ja törmäyskuormitusta. Haastattelussa ilmeni, että tähän kyseiseen opinnäytetyössä tehtävään vertailuun voi käyttää tätä vanhaa teosta, koska uudessa Ruotsin kansallisessa standardissa ei ole laskukaavoja eikä se ole lähellekään sillä tasolla kuin esimerkiksi Suomessa oleva kansallinen standardi (Jarnerö 2014).

Myös Ruotsissa värähtelyn tarkasteluun käytetään kävelevän ihmisen aiheuttamaa värähtelyä. Mitoitettaessa välipohjaa ja välipohjapalkistoa on otettava huomioon muun muassa seuraavat häiritsevää värähtelyä aiheuttavat tekijät:

- kuormat, jotka aiheuttavat värähtelyn
- välipohjan dynaaminen värähtely
- vastenmielisyyttä aiheuttava värähtely. (Åkerlund 1994, 7.)

Dynaaminen kuorma, joka aiheutuu ihmisen kävelystä, on periaatteellisesti jakautunut erilaisille taajuuksille seuraavissa tapauksissa:

- Suurin kuormakomponenttien värähtelymäärä on pienempi kuin 8 Hz.
- Kuormakomponenttien sopiva suuruus löytyy väliltä $8 \text{ Hz} < f < 40 \text{ Hz}$.

Välipohja, jonka perusresonointitaajuus on suurempi kuin 8 Hz, valmistettiin rakennusohjeissa 1980-luvun puolivälissä. Useimmat asuntoihin tarkoitetut välipoh-

jat, joita tavallisesti käytettiin Ruotsissa, resonanssitaajuus oli yleensä suurempi kuin 8 Hz. Suurimmaksi osaksi tehtävät välipohjat olivat puisia tai paikallavalettuja betonivälipohjia. Menetelmä jota kuvaillaan lyhyesti seuraavassa osassa edellyttää seuraavaa:

- Välipohjan pienimmän resonanssitaajuuden f_1 on oltava suurempi kuin 8 Hz ja
- Välipohjan suurin jännemitta on oltava pienempi kuin 4 m sekä suunnitella huoneistoja jotka eivät sisällä pitkiä vapaita matkoja ja jotka ovat avoinna liikkumiselle, kuten käytäviä. (Åkerlund 1994, 7.)

Asuinhuoneiston välipohjan toimintaa tarkastellaan seuraavilla tavoilla:

- Yhdessä lyhytaikaisen, staattisen keskeisen kuorman Q_d kanssa huomioidaan taipuma w (staattinen kriteeri).
- Voiman sysäys I huomioidaan yhdessä pystysuuntaisen värähtelynopeuden, impulssinopeusvasteen u_{\max} kanssa (dynaaminen kriteeri). (Åkerlund 1994, 8.)

5.1.1 Staattiset kriteerit

Puuvälipohjalle kuuluu asettaa 1,0 kN voima Q_d BKR 94, 5:323, Ruotsin kansallisen liitteen mukaan.

On huomioitava värähtely, joka voi aiheutua puuvälipohjalle:

Asuinhuoneiston välipohjan värähtelytaipumus voidaan laskea pelkistettyä laskelmointimenetelmää käyttäen. Lyhytaikaisen pistekuorman ($K_s = 1$), jonka mitoitussarvo on 1,0 kN, aiheuttama taipuma yksittäisessä palkissa ei saa ylittää 1,5 mm. Palkin kestävyyslaskelmissa kuorman kohdistus oli vapaasti valittavissa, mutta kuormitus oli tehtävä keskeltä palkkia. Mahdollinen kuormanjakautuminen viereiselle palkille hyvitetään. Palkin ja lattialevyn välistä myötävaikutusta hyödynnetään laskelmissa, mutta liitoksille pitää tehdä lisätarkastus.

Staattiset kriteerit sopivat sovellettuna myös erilaisille välipohjatyypeille, kuten komposiitti- ja betonivälipohjille. Jälkimmäisessä värähtely on kuitenkin harvoin ratkaiseva tekijä.

Taipuma lasketaan:

$$w = k \frac{Q_d l^3}{48EI} \quad (19)$$

Kuormanjakaantumiskertoimen yhtälön (20) mukaan keskeisellä 1kN kuormalla (mitoitusarvo) edellinen osan mukaan.

jossa

l on jännemitta

EI on taivutusjäykkyys yksittäiselle palkille

Kuormanjakaantumiskerroin k voidaan laskea seuraavalla likimääräisellä lausekkeella, joka pätee vähintään kolmeen yhdessä vaikuttavaan palkkiin:

$$k = \begin{cases} -4,7\beta^2 + 2,9\beta + 0,4 & \text{kun } 0 \leq \beta \leq 0,3 \\ 0,8 + 0,2\beta & \text{kun } 0,3 \leq \beta \leq 1,0 \end{cases} \quad (20)$$

$$\beta = \frac{(EI)_x}{(EI)_y} \left(\frac{s}{l} \right)^4 \quad (21)$$

jossa

$(EI)_x$ on taivutuskestävyys leveydelle pääakselin suuntaan [Nm]

$(EI)_y$ on taivutuskestävyys leveydelle heikompaan suuntaan [Nm]

s on palkkien keskinäinen etäisyys [m]

l on palkkien jännemitta [m] (Åkerlund 1994, 9–10).

5.1.2 Dynaamiset kriteerit

Välipohja pitää mitoittaa voiman sysäykselle l . Välipohjan vaste huomioon ottaen alustava pystysuuntainen värähtelyn nopeus, impulssinopeusvaste u_{\max} ei saa sijaita häiritsevässä tai varmistamattomassa alueessa kaavassa (22).

Voiman sysäykselle l voidaan käyttää arvoa 1 Ns. Tämä arvo kelpaa yleisesti, se on myös käytössä betoni- ja komposiittivälipohjille.

Nelikulmainen vapaa nostettu laatta voi maksimoida impulssinopeusvasteen u_{\max} laskelmasta

$$u_{\max} = \frac{4(0,4+0,6*n_{40})}{mbl+200} * 10^3 \frac{mm/s}{Ns} \quad (22)$$

jossa

n_{40} on sellaisten ominaismuotojen lukumäärä, joita vastaava ominaistajuuks on enintään 40 Hz, katso kaava (23)

m on laatan massa pinta-alayksikköä kohden [kg/m²]

b on laatan leveys [m]

laatan pituus on palkkien kulkusuuntaan [m].

Ominaismuotojen lukumäärä, joita vastaava ominaistajuuks on enintään 40 Hz, n_{40} , voidaan laskea seuraavalla tavalla:

$$n_{40} = \frac{b}{l} \left[\left[\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 \right] \frac{(EI)_x}{(EI)_y} \right]^{1/4} \quad (23)$$

f_1 on alin resonointitajuuks [Hz], katso kaava (24)

$(EI)_x$ on taivutuskestävyys leveydelle pääakselin suuntaan [Nm]

$(EI)_y$ on taivutuskestävyys leveydelle heikompaan suuntaan [Nm]

suurin massa on suurempi kuin 150 kg/m^2 , pitää vaimennussuhteeseen ξ lisätä 0,008 (0,8 %).

Ylempi ja alempi rajaviiva vaarallisella alueella kuviosta (8) voidaan kirjoittaa muotoon:

$$2 * 10^{(1+2f_1\xi)} \quad (25)$$

$$10^{(1+2f_1\xi)} \quad (26)$$

(Åkerlund 1994, 10–11).

5.2 Iso-Britannian kansallinen standardi

5.2.1 Käyttöluokat

Käyttöluokka 1: Tyypillisesti materiaalin kosteus vastaa 20°C vastaavan ilman suhteellista kosteutta. Suhteellinen kosteus nousee vain muutama viikkona yli 65 %:n. Puun keskimääräinen kosteus ei ylitä 12 %:n keskiarvoa.

Käyttöluokka 2: Tyypillisesti materiaalin kosteus vastaa 20°C vastaavan ilman suhteellista kosteutta. Suhteellinen kosteus nousee vain muutamana viikkona yli 85 %:n. Puun keskimääräinen kosteus ei ylitä 20 %:n keskiarvoa.

Käyttöluokka 3: Tyypillistä että kosteusolot nousevat suuremmiksi kuin käyttöluokan 2, tapauksessa (Use of Structural Eurocodes 2008, 27).

5.2.2 Käyttörajatila

Ihmisten mukavuus, rakenteiden toimivuus sekä rakenteen tai rakenteellisten aineiden toiminta normaalissa käytössä on otettava huomioon.

Välitön epämuodostuma w_{inst} lasketaan käyttäen E_{mean} , G_{mean} & K_{ser} yhdistelykuormaa, kuvion (4) mukaan.

Lopullinen taipuma lasketaan käyttämällä kuormien pitkäaikaisyhdistelmää, kun rakenteen komponenteilla ja elementeillä on lähes sama virumiskäyttäytyminen w_{fin} :

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q1} + w_{fin,Qi} \quad (27)$$

jossa

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{pysyvä kuorma}$$

$$w_{fin,Q1} = w_{inst,Q1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{päähyötykuorma}$$

$$w_{fin,Qi} = w_{inst,Qi} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad \text{toinen hyötykuorma } Q_i (i > 1)$$

Lopullinen epämuodostuma pitäisi laskea käyttäen keskiarvoja ($E_{mean,fin}$, $G_{mean,fin}$ ja $K_{ser,fin}$), jos rakenteessa on osia eri materiaaleista.

Kuviossa (4) olevat neljä pääasiallista taipumaa ovat: esikorotus, pysyvien kuormien aiheuttama taipuma, muuttuvista kuormista aiheutuva taipuma sekä virumasta aiheutuva taipuma (Use of Structural Eurocodes 2008, 95 – 97).

Materiaalien jäykkyys- ja osavarmuuslukuja:

Taulukko 6. Materiaalien jäykkyys- ja osavarmuusluvut.

Massiivipuu, käsittelemätön	1,3
Massiivipuu, käsitelty	1,3
Liimapuu	1,25
LVL, vaneri, OSB	1,2
Lastulevy	1,3
Kuitulevy, kova	1,3
Kuitulevy, normaali	1,3
Kuitulevy, MDF	1,3
Kuitulevy, pehmeä	1,3
Liitännät, ei naulalevyliitokset	1,3
Naulalevyliitokset, tartuntalujuus	1,3
Naulalevyliitokset, teräslevyn lujuus	1,15
Onnettomuusyhdistelmät	1,0

Yksittäisen palkin taipuman raja-arvot $w_{net,fin}$:

Taulukko 7. Lopulliset taipuman raja-arvot palkille.

	kahden tuen välinen jännemitta	ulokkeen jännemitta
katto tai lattia rapatulla tai kipsilevyllä	$l/250$	$l/125$
katto tai lattia ilman rappausta tai kipsilevyä	$l/150$	$l/75$

Huomio: Kun lasketaan $w_{net,fin}$ w_{fin} pitää laskea, kun u_{fin} on yhtäpitävä Britannian kansallisen liitteen BS EN 1995-1-1:2004+A1:2008,2.2.3(5) kanssa (UK National Annex to Eurocode 5 2009, 9).

Värähtely asuinhuoneen lattioissa:

Taulukko 8. Taipumien ja nopeusvasteiden rajoja.

Parametrit	rajat
a, taipuma lattialle 1kN pistekuormasta	1,8 mm kun $l \leq 4000$ mm $16500/l^{1,1}$ mm kun $l > 4000$ mm
b, nopeusvaste	$a \leq 1$ mm $b = 180 - 60a$ $a > 1$ mm $b = 160 - 40a$

Taulukossa 8 / on jännemitta.

Britanniassa käytetään arvoa $\xi = 0.02$ laskettaessa värähtelymuotoa vastaavaa vaimennussuhdetta (UK National Annex to Eurocode 5 2009, 10).

Koneista aiheutuva värähtely:

Täytyy käyttää epäedullisia yhdistelyitä pysyvien ja muuttuvien kuormien laskennassa, kun voidaan olettaa, että koneita käytetään lattialla (Use of Structural Eurocodes 2008, 153).

Asuinhuoneen lattia:

- 1) Lattioille, joiden perustaajuus on vähemmän kuin 8 Hz ($f_1 \leq 8$ Hz), täytyy tehdä erikoistarkastelu
- 2) Seuraavat vaatimukset täytyy toteuttaa asuinhuoneen lattialle, jonka pääasiallinen taajuus on suurempi kuin 8 Hz ($f_1 > 8$ Hz):

$$\frac{w}{F} \leq a \text{ mm/kN} \quad (28)$$

$$v \leq b^{(f_1 \xi - 1)} \text{ m/(Nm}^2\text{)} \quad (29)$$

jossa

F on sovellettu voima missä tahansa lattian kohdassa kN

w on suurin hetkellinen taipuma, joka aiheuttaa staattisen pystysuoran pistekuorman F , joka vaikuttaa missä tahansa lattian kohdassa, kuorman jakautuminen huomioon

a on taipuma 1 kN pistekuormasta

rajat: $a \leq 1,8 \text{ mm}$ kun jänneväli $l \leq 4000 \text{ mm}$

$a \leq 16500/l^{1,1}$ kun jänneväli $l > 4000 \text{ mm}$

v on yksikköimpulssin aiheuttama lattian pystysuoran värähtelyn nopeuden suurin alkuarvo [m/s], jonka aiheuttama ideaalinen yksikköimpulssi [1Ns], joka asetetaan vaikuttamaan suurimman vasteen aiheuttamaan lattian kohtaan. Yli 40 Hz komponentit voidaan jättää huomiotta.

b on nopeusvaste [m/Ns²]

rajat: $b \geq 180-60a$, kun $a \leq 1 \text{ mm}$

$b \geq 160-40a$, kun $a > 1 \text{ mm}$

ξ on värähtelymuotoa vastaava vaimennussuhde = 0.02

Aikaisemmin suositellut rajat arvolle a saattavat kilpailla lattian muodonmuutoslasien kanssa.

$$a = 1000 k_{dist} * l_{eq}^3 * k_{shear} / [48(EI)_{joist}] \text{ mm} \quad (30)$$

jossa

$(EI)_{joist}$ on palkin taivutusjäykkyys (laskettu käyttäen E_{mean})

k_{dist} on osuus pistekuorman toiminnasta yksittäisellä palkilla

l_{eq} on lattian jännemitta

k_{shear} on vahvistava kerroin poikkeamille

Tämä laskelma tehdään olettaen että lattiaa kuormittaa vain omapaino ja muut pysyvät kuormat (Use of Structural Eurocodes 2008, 153 – 155).

Lattioissa, jotka ovat suorakaiteen muotoisia ja joiden kaikki neljä sivua ovat vapaasti tuetut, voidaan käyttää seuraavaa kaavaa värähtelytaajuuden selvittämiseksi:

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (31)$$

jossa

m on massa pinta-alayksikköä kohti [kg/m²]

l on lattian jänneväli [m]

$(EI)_l$ on taivutusjäykkyys palkin suuntaa vastaan kohtisuoran akselin suhteen [Nm²/m]

Kuorman voi olla ainoastaan lattian massa, eikä muita vaihtelevia kuormia huomioida.

Edellä mainitun kaltaiselle lattialle voidaan värähtelynopeuden likimääräisenä alkuarvona käyttää seuraavaa:

$$v = \frac{4(0,4+0,6*n_{40})}{mbl+200} \quad (32)$$

jossa

v on yksikköimpulssin aiheuttama värähtelynopeuden alkuarvo [m/(Ns²)]

n_{40} on sellaisten ominaismuotojen lukumäärä, joita vastaava ominaistaajuus on enintään 40 Hz.

b	on lattian leveys [m]
m	on lattian massa pinta-alayksikköä kohti [kg/m ²]
l	on lattian jänneväli [m]

$$n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \left(\frac{b}{l} \right)^4 \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (33)$$

$(EI)_b$ on lattialaatan ekvivalentti taivutusjäykkyys [Nm²/m] palkkien suuntaisen akselin suhteen lattian pituusyksikköä kohti, jolloin $(EI)_b < (EI)_l$ (Use of Structural Eurocodes 2008, 155).

5.3 Suomen kansallinen standardi

5.3.1 Käyttöluokat

Kansallisen liitteen mukaan käyttöluokkaan 1 kuuluvat puurakenteet jotka ovat lämmitetyissä sisätiloissa tai vastaavissa kosteusoloissa. Myös lämpöeristekerroksessa sijaitsevat rakenteet sekä palkit joiden vetopuoli on lämpöeristeen puolella, voidaan luokitella kuulumaan käyttöluokkaan 1 (SFS – EN 1995 – 1 – 1 2007, 3).

Käyttöluokkaan 2 kuuluvat rakenteet jotka ovat ulkona, mutta kuivissa olosuhteissa. Katokset, tuulelta suojaiset ja kosteudelta suojatut paikat mahdollistavat käyttöluokan 2 määritelmän. Esimerkkinä ovat rossipohjan ja ullakon puiset rakenteet (SFS-EN 1995 – 1 – 1 2007, 3).

Käyttöluokan 3 rakenteet saavat olla ulkona alttiina säärasituksille (SFS – EN 1995 – 1 – 1 2007, 3).

5.3.2 Mitoitusarvo

Materiaaleille käytetään jäykkyys- ja kestävyysominaisuuksien osavarmuyslukuja γ_M (SFS-käsikirja 205 2007, 259).

Taulukko 9. Materiaalien jäykkyys- ja osavarmuuslukuja.

Perusyhdistelmät:	
Sahatavara ja pyöreä puutavara yleensä	1,4
Havusahatavara, jonka lujuusluokka > C35	1,25
Liimapuu, LVL	1,2
Puulevyt	1,25
Liitokset	*)
Naulalevyliitokset: - tartuntalujuus	1,25
- levyn lujuus (teräs)	1,1
Onnettomuusyhdistelmät	1

*) Liitoksissa käytetään liittimien osavarmuuslukuja. Liittimien osavarmuusluvut löytyvät taulukoituina arvoina.

5.4 Palkin taipuma

Taipumien ja vaakasiirtymien ollessa haitallisia niiden ominaisyhdistelmistä aiheutuvat käyttörajatilan taipumat ja vaakasiirtymät rajoitetaan. Ellei rakenteen tyyppi tai käyttötarkoitus ole sellainen, että voidaan jonkun muun arvon sopivan paremmin mitoitukseen. Jos tuulikuorma ei ole määräävä, niin sitä ei tarvitse ottaa muuttuvien kuormien yhdistelmissä huomioon käyttörajatilamitoituksessa (SFS-käsikirja 205 2007, 259).

Taulukossa (10) on taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot. l on jänneväli ja H rakennuksen tarkasteltavan kohdan korkeus.

Taulukko 10. Taipumien ja vaakasiirtymien enimmäisarvot.

Rakenne	$w_{inst}^{1)}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}^{2)}$
Pääkannattimet	$l/400$	$l/300$	$l/200$
Orret ja muut toisiokannattimet	-	$l/200$	$l/150$
Rakennuksen vaakasiirtymä	-	$H/300$	-

¹⁾Koskee pelkästään lattioita

²⁾Koskee esikorotettuja sekä tukipisteiden välillä kaarevia tai taitteellisia rakenteita (SFS-käsikirja 205 2007, 259 – 260).

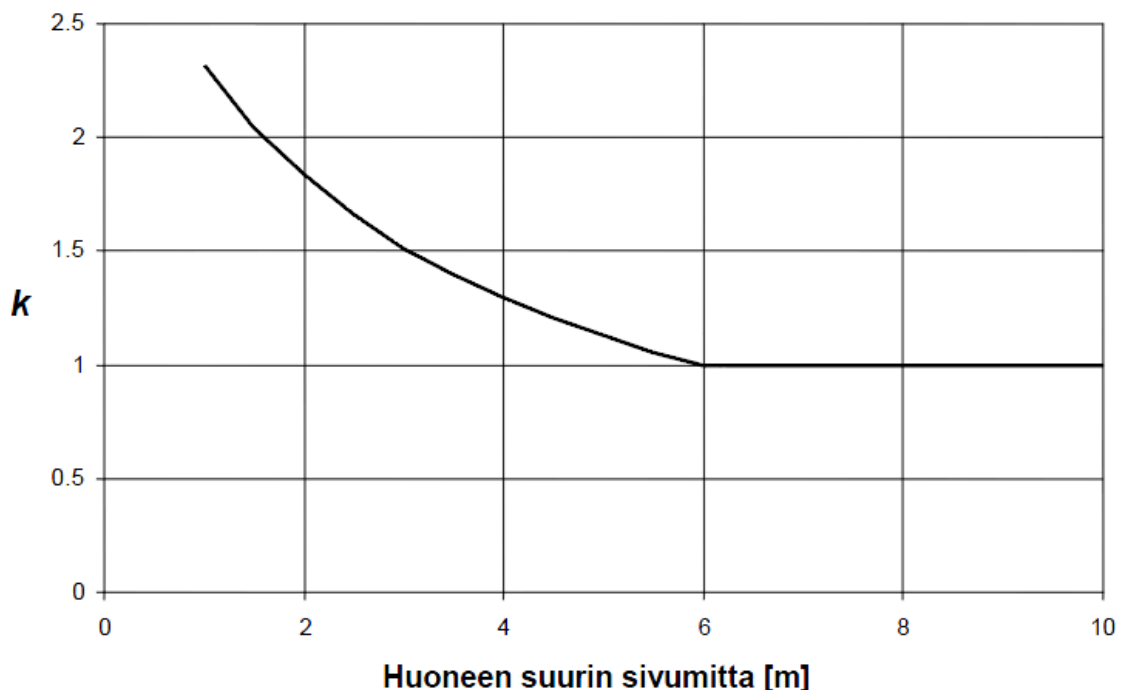
5.5 Lattioiden värähtely

Lattioiden värähtelymitoituksessa otetaan huomioon kävelystä aiheutuva värähtely asuin-, kokoontumis-, myymälä- ja toimistorakennusten käyttörajatilamitoituksessa. Erityistarkastelu tehdään, jos asuin- tai toimistohuoneen lattiarakenteen alin ominaistajuuus on alle 9 Hz ($f_1 < 9 \text{ Hz}$). Jos alin ominaistajuuus on yli 9 Hz ($f_1 \geq 9 \text{ Hz}$), tarkistetaan seuraava ehto, ellei rakennuttajan kanssa sovita toisin:

$$\delta \leq 0,5 \text{ mm} \quad (34)$$

δ on 1 kN staattisesta pistekuormasta aiheutuva suurin hetkellinen painuma lattiapalkin kohdalla. Pienien huoneiden kohdalla taipuman arvoa voidaan korottaa kertoimella k .

Lattiapalkin painuman δ lisäksi lattialevyn tai kelluvan lattian lisätaipuma, joka aiheutuu 1 kN pistevoimasta, saa olla enintään 0,5 mm (SFS-käsikirja 2007, 206).



Kuvio 9. Huoneen koosta riippuva taipuman korotuskerroin k .

Yhteen suuntaan kantavan lattian alin ominaistajuuus saadaan laskettua kaavasta

$$f = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (35)$$

Kahteen suuntaan kantavan lattian alin ominaistajuus saadaan laskettua kaavasta:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \sqrt{1 + \left[2 * \left(\frac{l}{b}\right)^2 + \left(\frac{l}{b}\right)^4 \right] * \frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \quad (36)$$

jossa

l	on lattiarakenteen jänneväli [m]
b	on lattiarakenteen leveys [m]
$(EI)_l$	on lattian kantavaa suuntaa l vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [Nm ² /m]
$(EI)_b$	on poikittaissuuntaa b vastaava taivutusjäykkyys leveysyksikköä kohti [Nm ² /m]
m	on lattian oman painon ja pitkäaikaisen hyötykuorman ($\psi_2 q_k$) pinta-alayksikköä kohden yhteen laskettu massa [kg/m ²].

Lattiapalkin kohdalla sijaitsevan pistekuorman ($F=1\text{ kN}$) aiheuttama lattian painuma saadaan laskettua yhteen suuntaan kantavan lattian tapauksessa kaavasta:

$$\delta = \min \left\{ \frac{Fl^2}{42 * k_\delta (EI)_l}, \frac{Fl^3}{48 * s * (EI)_l} \right\} \quad (37)$$

jossa

s on lattiapalkkien välinen etäisyys [m]

rajoituksena

$$K_\delta = \sqrt[4]{\frac{(EI)_b}{(EI)_l}} \leq \frac{b}{l} \quad (38)$$

Lauseketta (37) voidaan käyttää neljältä sivulta tuetulle lattialle. Silloin ei tarvitse rajoittaa kerrointa k_{δ} tekijällä $\leq b/l$.

Tätä ohjetta voidaan soveltaa kaksi- tai useampiauukkoisten jatkuvien lattiapalkkien tai laattojen yhteydessä. Lattiarakenne ei saa silloin olla jatkuva huoneistojen välillä (SFS-käsikirja 205 2007, 260 – 261).

5.6 Normien vertailu

Taulukossa on esitetty ne pääasialliset arvot, joita suunnittelussa on otettava huomioon. Taulukosta 11 näkee erot tutkittavien ohjeiden välillä, jotka koskevat puuvälipohjien taipumaa ja värähtelyä

Taulukko 11. Suunnitteluohjeiden välisiä eroja.

Normi	a (mm)	f_1 (Hz)	ξ (%)	l (m)
EC5	-	8	1	l/300...l/500
EC5 lyhennetty	-	9	1	l/400
Ruotsissa	1,5	8	1	-
Britanniassa	1,8	8	2	l/250
Suomessa	0,5	9	1	l/400
a on suurin sallittu taipuma jännevälin matkalla f_1 on raja joka erottaa korkea- ja matalataajuuslattian ξ on värähtelymuotoa kuvaava vaimennussuhde l on jänneväli ja tuloksena suurin taipuma kaksitukisen palkin tapauksessa				

6 YHTEENVETO

Puukerrostalojen rakentamista pitäisi tutkia enemmän ja tehdä yhteistyötä eri maiden kanssa, joissa rakennetaan puukerrostaloja. Näin selviäisi varmasti parhaiten, kuinka kannattaa rakentaa ja mitkä olisivat sopivat rajoitukset esimerkiksi taipumille ja värähtelylle. Tutkittaessa näitä edellä mainittuja huomattiin, että vaikka pohjana toimii sama ohje, niin silti kolmessa maassa on suuretkin erot kansallisissa normeissa. Eli miksi jossain maassa on helpompaa rakentaa kuin toisessa, vaikka suunnittelu pohjautuu samoihin ohjeisiin. Suomessa on kaikkein tiukin kansallinen normitus, ja se on syynä miksi Suomessa ei rakenneta kovinkaan paljon puukerrostaloja muihin maihin verrattuna. Ruotsista saadun tiedon mukaan siellä ei ole ainakaan tällä hetkellä kunnollista kansallista ohjeistusta puurakentamiseen. Läheisen maantieteellisen sijainnin takia ei ole uskottavaa, että ilmasto-olotkaan voivat olla syynä kovin erisuuruisiin sallittuihin arvoihin Suomen ja Ruotsin kohdalla. Olisi varmasti helpompaa, jos niissä maissa, joissa eurokoodia käytetään, olisi edes hiukan lähempänä toisiaan olevat kansalliset normit. Se saattaisi helpottaa ulkomaankauppaa, koska ei tarvitsisi miettiä, kuinka sama ratkaisu sopii niin kotikuin vientimaassakin.

LÄHTEET

- Ijäs, V. 2013. Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet: Keskeisten suomalaisten rakentamis- ja kiinteistöalan sidosryhmien vertaileva asennemitäus.
- Jarnerö, K. 2014. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Puhelinhaastattelu 27.3.2014.
- Puuinfo. Puukerrostalo – palomääräykset 2011. [Verkkosivu]. [Viitattu 2.5.2014]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/rakentamismaaraykset/puukerrostalo-palomaaraykset-2011>
- Puurakenteiden suunnittelu: Lyhennetty suunnitteluohje, kolmas painos. 2011. [Verkkojulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu: 2.4.2014]. Saatavana: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteiden-suunnittelu/eurokoodi-5-lyhennetty-ohje-puurakenteidensuunnitelu/eurokoodi5lyhennettysuunnitteluohjwwwkolmaspainos10913rilinkorjauksin.pdf>
- SFS- käsikirja 205. 2007. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. 1. Painos. Helsinki: SFS.
- Siikanen, U. 2008. Puurakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Tolppanen, J., Karjalainen, M., Lahtela, T. & Viljakainen, M. 2013. Suomalainen puukerrostalo: Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Opetushallitus.
- UK National Annex to Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1 – 1: General – Common rules and rules for buildings. 2009. [Verkkojulkaisu]. BSI. [Viitattu 2.4.2014]. Saatavana: <https://archive.org/details/bs.na.en.1995.1.1.2008>
- Use of Structural Eurocodes – EN 1995 (Design of Timber Structures) Companion Document to EN 1995 – 1 – 1. 2008. [Verkkojulkaisu]. Communities and Local Government. [Viitattu 2.4.2014]. Saatavana: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20120919132719/www.communities.gov.uk/documents/planningandbuilding/pdf/Structuraleurocodebd2405.pdf>
- Ylihärstilä, H. 2010. Puurakenteet 1: Murtorajatilamitoitus. Opetusmateriaali. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. (Julkaisematon)
- Åkerlund, S. 1994. Svängningar deformationspåverkan och olyckslast. Karlskrona: Boverket.